

Application No. 10/603,304
Paper dated April 25, 2005
Notice of Allowance dated March 25, 2005
Attorney Docket No. 0116-031009



IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

Application No. : 10/603,304 Confirmation No. 3048
Applicant : MIYUKI MATSUYA ET AL.
Filed : June 25, 2003
Title : CHARGED-PARTICLE BEAM APPARATUS EQUIPPED
WITH ABERRATION CORRECTOR
Group Art Unit : 2881
Customer No. : 28289

Mail Stop ISSUE FEE
Commissioner for Patents
P.O. Box 1450
Alexandria, VA 22313-1450

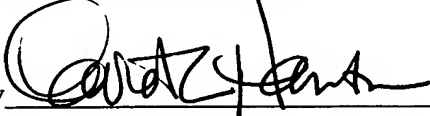
CLAIM FOR PRIORITY UNDER 35 U.S.C. § 119

Sir:

Attached hereto is a certified copy of Japanese Patent Application No. 2002-189812 which corresponds to the above-identified United States patent application and which was filed in the Japanese Patent Office on June 28, 2002. The priority benefits provided by Section 119 of the Patent Act of 1952 are claimed for the above application.

Respectfully submitted,


THE WEBB LAW FIRM

By 

David C. Hanson, Reg. No. 23,024
Attorney for Applicants
700 Koppers Building
436 Seventh Avenue
Pittsburgh, PA 15219-1845
Telephone: 412-471-8815
Facsimile: 412-471-4094
E-Mail: webblaw@webblaw.com

I hereby certify that this correspondence is being deposited with the United States Postal Service as first class mail in an envelope addressed to Commissioner for Patents, P.O. Box 1450, Alexandria, VA 22313-1450 on April 25, 2005.

Lori A. Fratangelo
(Name of Person Mailing Paper)

 04/25/2005
Signature Date

日 本 国 特 許 庁

JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日 2 0 0 2 年 6 月 2 8 日
Date of Application:

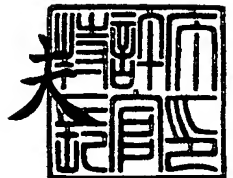
出 願 番 号 特 願 2 0 0 2 - 1 8 9 8 1 2
Application Number:
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 2 - 1 8 9 8 1 2]

出 願 人 日 本 電 子 株 式 会 社
Applicant(s):

2 0 0 3 年 7 月 2 8 日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



CERTIFIED COPY OF
PRIORITY DOCUMENT

出証番号 出証特 2 0 0 3 - 3 0 5 9 7 1 0

BEST AVAILABLE COPY

【書類名】 特許願

【整理番号】 14-I-001

【提出日】 平成14年 6月28日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01J 37/153
H01J 37/28
H01J 37/256

【発明の名称】 荷電粒子ビーム装置における収差補正装置

【請求項の数】 11

【発明者】
【住所又は居所】 東京都昭島市武蔵野三丁目 1 番 2 号 日本電子株式会社
内
【氏名】 松谷 幸

【発明者】
【住所又は居所】 東京都昭島市武蔵野三丁目 1 番 2 号 日本電子株式会社
内
【氏名】 細川 史生

【特許出願人】
【識別番号】 000004271
【氏名又は名称】 日本電子株式会社

【代理人】
【識別番号】 100085187
【弁理士】
【氏名又は名称】 井島 藤治

【選任した代理人】
【識別番号】 100090424
【弁理士】
【氏名又は名称】 鮫島 信重

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 009542

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9708270

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 荷電粒子ビーム装置における収差補正装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 荷電粒子ビーム光学系内部の対物レンズの前方に配置された、4 段の静電型 4 極子と、4 段の静電型 4 極子の中央の 2 段の静電型 4 極子の電位分布と相似な磁位分布を重畳させる 2 段の磁場型 4 極子とより成る収差補正光学系と、荷電粒子ビームの加速電圧や作動距離を変更する操作部と、前記収差補正光学系の 4 段の静電型 4 極子のそれぞれに電圧を供給する電源と、2 段の磁場型 4 極子を励磁する電源と、対物レンズの電源と、操作部の操作または設定に基づいて前記 3 種類の電源を制御する制御部を備えた収差補正装置において、収差補正光学系と対物レンズとの間に少なくとも 1 段のトランスファーレンズより成るトランスファーレンズ系を配置し、トランスファーレンズ系の物面を収差補正光学系の最終段付近に設定し、これに共役な像面を対物レンズの前方焦点付近に設定し、トランスファーレンズ系と対物レンズの合成倍率を調整可能とした荷電粒子ビーム装置における収差補正装置。

【請求項 2】 4 段の静電型 4 極子の電位分布に 8 極子電位を重畳させる 4 段の静電型 8 極子と、4 段の静電型 8 極子に電圧を供給する電源と、操作表示部の操作または設定に基づいて前記 4 段の静電型 8 極子の電源を制御する制御部を備えた請求項 1 記載の荷電粒子ビーム装置における収差補正装置。

【請求項 3】 色収差または球面収差の何れか一方、または色収差と球面収差を同時に補正するとき、試料面における 5 次の開口収差係数 C_5 の大きさ（絶対値）が最小となるように、トランスファーレンズ系と対物レンズの合成倍率を調整した請求項 1 または 2 記載の荷電粒子ビーム装置における収差補正装置。

【請求項 4】 色収差または球面収差の何れか一方、または色収差と球面収差を同時に補正するとき、試料面における 4 次の収差である 3 次開口色収差係数 C_3c の大きさ（絶対値）が最小となるように、トランスファーレンズ系と対物レンズの合成倍率を調整した請求項 1 または 2 記載の荷電粒子ビーム装置における収差補正装置。

【請求項 5】 色収差または球面収差の何れか一方、または色収差と球面収

差を同時に補正するとき、試料面における 5 次の開口収差係数 C_5 の X, Y 方向の成分 C_{5x} , C_{5y} の大きさが同程度となるように収差補正装置に対してトランスファーレンズ系を配置した請求項 1～3 の何れかに記載の荷電粒子ビーム装置における収差補正装置。

【請求項 6】 色収差または球面収差の何れか一方、または色収差と球面収差を同時に補正するとき、試料面における 4 次の収差である開口色収差係数 C_{3c} の X, Y 方向の成分 C_{3cx} , C_{3cy} の大きさが同程度となるように収差補正装置に対してトランスファーレンズ系を配置した請求項 1, 2, 4 の何れかに記載の荷電粒子ビーム装置における収差補正装置。

【請求項 7】 トランスファーレンズ系の物面を収差補正光学系の最終段付近に設定し、これに共役な像面を対物レンズの前方焦点付近に設定した光学系で、共役点に対するトランスファーレンズ系の合成倍率を 1 以外の値とした請求項 1～6 の何れかに記載の荷電粒子ビーム装置における収差補正装置。

【請求項 8】 試料面に電圧を印加するための電源を備え、電圧の印加により試料面に照射される荷電粒子ビームを減速させることによって収差補正前の収差係数を小さくし、色収差と球面収差のいずれか一方、あるいは、色収差と球面収差を同時に補正したとき、5 次の開口収差係数 C_5 の大きさ（絶対値）が最小となるように、または、4 次の収差である 3 次開口色収差係数 C_{3c} の大きさ（絶対値）が最小となるように、トランスファーレンズ系と対物レンズの合成倍率を調整した請求項 1～7 の何れかに記載の荷電粒子ビーム装置における収差補正装置。

【請求項 9】 収差補正装置の多極子のフォーカス電位、色収差補正電位、球面収差補正電位に 5 次の収差係数を補正するための 12 極子電位を重畳した請求項 1～8 の何れかに記載の荷電粒子ビーム装置における収差補正装置。

【請求項 10】 トランスファーレンズ系は、1 段のトランスファーレンズより成る請求項 1～9 の何れかに記載の荷電粒子ビーム装置における収差補正装置。

【請求項 11】 トランスファーレンズ系は、2 段のトランスファーレンズより成る請求項 1～9 の何れかに記載の荷電粒子ビーム装置における収差補正装

置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、走査電子顕微鏡などの電子ビーム装置やイオンマイクロプローブなどのイオンビーム装置における色収差と球面収差を補正するための荷電粒子ビーム装置における収差補正装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

走査電子顕微鏡や透過電子顕微鏡において、高分解能の像を観察したりプローブ電流密度を上げることを目的として、電子光学系の中に収差補正装置が組み込まれている。この収差補正装置として、色収差を静電型4極子と磁場型4極子の組合せで補正し、球面収差を4段の8極子で補正する方式が提案されている。その原理については、次に示す文献に詳しく紹介されている。

【0003】

[1] V. H. Rose, Optik 33, Heft1, 1 (1971)

[2] J. Zach, Optik 83, No1, 30 (1989)

[3] J. Zach and M. Haider, Nucl. Instr. and Meth. In Pyhs. Res.

A 363, 316 (1995)

ここで、上記した収差補正装置の原理の概略を、図1に基づいて説明する。図1において、対物レンズ7の前段、対物レンズ絞り8の後段に収差補正装置Cが配置されている。収差補正装置Cは、4段の静電型4極子1、2、3、4と、静電型4極子の2段目と3段目が作り出す電位分布と相似な磁位分布を作り出し、電界と重畳した磁界を形成する2段の磁場型4極子5、6と、4段の静電型4極子が形成する電界と重畳した電界を形成する4段の静電型8極子11, 12, 13, 14とより構成されている。

【0004】

なお、図では第1段の静電型4極子1と第1段の静電型8極子11とを重ねて描かれている。同様に、第2段の静電型4極子2と、第2段の静電型8極子12

と、第1の磁場型4極子5とが重ねて描かれている。同様に、第3段の静電型4極子3と、第3段の静電型8極子13と、第2の磁場型4極子6とが重ねて描かれている。同様に、第4段の静電型4極子4と、第4段の静電型8極子14とが重ねて描かれている。

【0005】

また、9は操作表示部、10は静電型4極子用電源、15は磁場型4極子用電源、17は対物レンズ用電源、18は静電型8極子用電源、19は制御部である。更に、FFPは対物レンズ7の前方焦点位置、PPは対物レンズの主面位置である。

【0006】

このような構成において、図の左側から入射した荷電粒子ビームは、4段の静電型4極子1、2、3、4と対物レンズ7によって、基準となる荷電粒子ビームの軌道が作られ、試料面20に荷電粒子ビームがフォーカスされる。この図1では、粒子線のX方向の軌道 R_x とY方向の軌道 R_y を平面上に模式的に描いている。

【0007】

基準軌道とは、近軸軌道として、4極子1によってY方向の軌道 R_y が4極子2の中心を通り、4極子2によってX方向の軌道 R_x が4極子3の中心を通り、最後に4極子3、4と対物レンズ7によって荷電粒子ビームが試料面20にフォーカスされる軌道をいう。実際には完全なフォーカスのために、これらの相互調整が必要になる。

【0008】

次に、収差補正装置Cによる色収差補正について説明する。図1に示したような系で先ず色収差を補正するには、上記の基準軌道を変えないように静電型4極子2の電位 ϕ_{q2} [V] と磁場型4極子5の励磁 J_2 [A T] (あるいは磁位) が調整され、レンズ系全体としてX方向の色収差が0に補正される。同様に基準軌道を変えないように静電型4極子3の電位 ϕ_{q3} [V] と磁場型4極子6の励磁 J_3 [A T] が調整され、レンズ系全体としてY方向の色収差が0に補正される。

【0009】

次に、球面収差補正（3次の開口収差補正）について説明する。球面収差を補正する場合には、X、Y方向の色収差の補正を行った後に、静電型8極子12の電位 ϕ_{02} [V]によってレンズ系全体としてX方向の球面収差を0に補正し、静電型8極子13の電位 ϕ_{03} によってY方向の球面収差を0に補正する。

【0010】

次に、XYが合成された方向の球面型収差を静電型8極子11、14で0に補正する。実際は交互の繰返し調整が必要になる。なお、4極子や8極子の電位や励磁の重畳は、1個の12極子を用いて、12極の各極子に印加する電位や励磁を変化させ2極子、4極子、6極子、8極子などの合成が行われ、実用化されている。このように、凸レンズとして動作する対物レンズ7の正の収差を、凹レンズと凸レンズの組合せとして動作する収差補正装置Cの負の収差によって打ち消すことが行われている。

【0011】

なお、球面収差は色収差を補正しなくても行うことができる。例えば、加速電圧が高い場合には球面収差だけを補正してもよい。

以下の説明で、静電型の多極子で電位 ϕ （あるいは電圧）という表現を用いた場合には、図2a、2bに示すような標準配列をした多極子の+側の値を表すものとする。同様に、磁場型の励磁Jという表現を用いた場合には、+側の励磁 [AT] を表すものとする。

【0012】

図1に示した収差補正装置Cで、前記した収差補正の理論や、実際に行われた実験に基づく結果では、色収差と球面収差がほぼ完全に補正され、前記収差補正系の優秀性が認められたが、更に収差補正装置と対物レンズとの間にトランスファーレンズを設け、収差補正装置Cと対物レンズ7間の距離を実質的になくし、両者の合成収差を減少させることが考えられている。

【0013】

図3および図4は、それぞれ収差補正装置Cと対物レンズ7との間にトランスファーレンズを配置した例を示しており、図3では、収差補正装置Cと対物レンズ7との間に2段のトランスファーレンズ27aと27bとが配置されている。ま

た、図4では、収差補正装置Cと対物レンズ7との間に1段のトランスファーレンズ27bを配置した例を示している。これらの図の中で、TFP及びTFはトランスファーレンズのフォーカス面、 f はトランスファーレンズの焦点距離を示している。また、図3および4の中で、対物レンズ電源17は、トランスファーレンズ用の電源を兼ねている。

【0014】

この図3および図4に示した構成では、球面収差などを補正する収差補正装置を有する透過電子顕微鏡の結像側（試料の像を拡大する側）にトランスファーレンズを配置して、軸外を通過するビームの性能を向上させている。この目的のためには、トランスファーレンズの焦点距離 f とトランスファーレンズの配置に関しては、厳密な関係を保つ必要がある。

【0015】

例えば、収差補正装置Cとして、2個の6極子による球面収差の補正装置を有し、色収差を補正する場合には、6極子の間に色収差補正装置を配置する方法が次に示す文献に示されている。

【0016】

[4] V. H. Rose, Optik 84, No.3 (1990) 91-107

[5] V. H. Rose, Optik 85, No.1 (1990) 19-24

[6] USP No.5,084,622

これらの文献に示されている光学系では、収差補正装置のコマ収差がない面の位置 Z_{cc} と対物レンズのコマ収差がない位置 Z_{0LC} （結像系の場合、対物レンズの後方焦点位置にはほぼ一致するといわれている）との距離を L とすると、 $L = 4f$ とし、 Z_{cc} とトランスファーレンズAの主面との距離を f 、トランスファーレンズA（27a）とトランスファーレンズB（27b）の両主面間の距離を $2f$ 、トランスファーレンズBの主面と Z_{0LC} との距離を f としている。

【0017】

また、次の米国特許

[7] USP No.6,191,423

に紹介されているように、収差補正装置のコマ収差がない面の位置 Z_{cc} と対物

レンズのコマ収差がない面の位置 Z_{OLC} (結像系の場合、対物レンズの後方焦点位置にほぼ一致するといわれている) との距離を L とするとき、 $L = 4f$ とし、 Z_{cc} とトランスファーレンズ B の主面との距離を $2f$ 、トランスファーレンズ B の主面と Z_{OLC} との距離を $2f$ としている。

【0018】

このように、トランスファーレンズを、試料の電子プローブが照射される側に配置し、収差補正装置 C の構成として、前記した球面収差補正 (3 次の開口収差補正) とトランスファーレンズ系による合成収差の低減のために示した 4 段の 4 極子と 8 極子による系に適用したのが、図 3 および図 4 に示した構成である。このような配置によって、収差補正装置と対物レンズの合成収差を低減することができる。

【0019】

【発明が解決しようとする課題】

前記した収差補正の理論や、実際に行われた実験に基づく結果では、図 1、図 3、図 4 に示した収差補正方式により、色収差と球面収差がほぼ完全に補正され、前記収差補正系の優秀性が認められたが、実用化の観点からは、収差補正系の安定度や印加電圧の範囲、さらには最適条件等に関しては、十分な配慮がなされていなかった。例えば、次に示すような問題点が生じている。

【0020】

第 1 には、トランスファーレンズの位置とその焦点距離 f を厳密に図 3 および図 4 に示すような配置にしても、色収差や球面収差が補正された後に残る高次収差、例えば 5 次の開口収差係数 C_5 (粒子ビームの試料への入射角 α の 5 乗に比例して収差が発生する) や 4 次の収差係数である 3 次開口・色収差係数 C_{3c} (試料への入射角 α の 3 乗に比例し、粒子ビームのエネルギー幅に比例する) などの高次の収差係数は必ずしも系が到達しうる最小値にはなっていなかった。

第 2 には、図 1、図 3、図 4 に示すような構成の場合、動作条件にもよるが、収差補正装置 C で発生した対物レンズ 7 とは符号が異なる収差係数に対する倍率が比較的小さいため、低加速電圧では、色収差や球面収差を補正して、補正に必要な電圧が多少高めに設定されても、静電型の多極子 (4 極子や 8 極子など) の耐

電圧に問題が生じることはなかったが、加速電圧が高くなるとこの補正電圧の大小が多極子の耐電圧に大きく影響する。

【0021】

第3には、図3および図4に示すように、収差補正装置Cと対物レンズ7との距離 L_{C-OL} と、対物レンズ7寄りのトランスファーレンズ27bと対物レンズ収差補正装置Cと対物レンズ7との距離 L_{TL-OL} を比較したとき、トランスファーレンズ系の存在により、収差補正装置Cと対物レンズ7の間に配置する偏向装置や非点補正装置を配置するための空間を制限するという問題があった。

【0022】

本発明は、このような点に鑑みてなされたもので、その目的は、安定かつ最適な収差補正を実現し、荷電粒子ビームの最小プローブ径を得ることができる荷電粒子ビーム装置の収差補正装置を実現するにある。

【0023】

【課題を解決するための手段】

請求項1の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、荷電粒子ビーム光学系内部の対物レンズの前方に配置された、4段の静電型4極子と、4段の静電型4極子の中央の2段の静電型4極子の電位分布と相似な磁位分布を重畳させる2段の磁場型4極子とより成る収差補正光学系と、荷電粒子ビームの加速電圧や作動距離を変更する操作部と、前記収差補正光学系の4段の静電型4極子のそれぞれに電圧を供給する電源と、2段の磁場型4極子を励磁する電源と、対物レンズの電源と、操作部の操作または設定に基づいて前記3種類の電源を制御する制御部を備えた収差補正装置において、収差補正光学系と対物レンズとの間に少なくとも1段のトランスファーレンズより成るトランスファーレンズ系を配置し、トランスファーレンズ系の物面を収差補正光学系の最終段付近に設定し、これに共役な像面を対物レンズの前方焦点付近に設定し、トランスファーレンズ系と対物レンズの合成倍率を調整可能としたことを特徴としている。

【0024】

請求項1の発明では、4段の静電型4極子と、4段の静電型4極子の中央の2段の静電型4極子の電位分布と相似な磁位分布を重畳させる2段の磁場型4極子

とより成る収差補正光学系を備えた収差補正装置において、収差補正光学系と対物レンズとの間に少なくとも1段のトランスファーレンズより成るトランスファーレンズ系を配置し、トランスファーレンズ系の物面を収差補正光学系の最終段付近に設定し、これに共役な像面を対物レンズの前方焦点付近に設定し、収差補正光学系の電圧と磁場を調整すると共に、トランスファーレンズ系と対物レンズの合成倍率を調整して色収差を補正する。

【0025】

請求項2の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、4段の静電型4極子の電位分布に8極子電位を重畳させる4段の静電型8極子と、4段の静電型8極子に電位を供給する電源と、操作表示部の操作または設定に基づいて前記4段の静電型8極子の電源を制御する制御部を備え、前記8極子の電位を制御して球面収差を補正している。

【0026】

請求項3の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、色収差または球面収差の何れか一方、または色収差と球面収差を同時に補正するとき、試料面における5次の開口収差係数 C_5 の大きさ（絶対値）が最小となるように、トランスファーレンズ系と対物レンズの合成倍率を調整する。

【0027】

請求項4の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、色収差または球面収差の何れか一方、または色収差と球面収差を同時に補正するとき、試料面における4次の収差である3次開口色収差係数 C_{3c} の大きさ（絶対値）が最小となるように、トランスファーレンズ系と対物レンズの合成倍率を調整する。

【0028】

請求項5の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、色収差または球面収差の何れか一方、または色収差と球面収差を同時に補正するとき、試料面における5次の開口収差係数 C_5 のX、Y方向の成分 C_{5x} 、 C_{5y} の大きさが同程度となるように収差補正装置に対してトランスファーレンズ系を配置した。

【0029】

請求項6の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、色収差または球面収差の何れか一方、または色収差と球面収差を同時に補正するとき、試料面における4次の収差である開口色収差係数 C_{3c} のX、Y方向の成分 C_{3cx} 、 C_{3cy} の大きさが同程度となるように収差補正装置に対してトランスファーレンズ系を配置した。

【0030】

請求項7の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、トランスファーレンズ系の物面を収差補正光学系の最終段付近に設定し、これに共役な像面を対物レンズの前方焦点付近に設定した光学系で、共役点に対するトランスファーレンズ系の合成倍率を1以外の値とした。

【0031】

請求項8の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、試料面に電圧を印加するための電源を備え、電圧の印加により試料面に照射される荷電粒子ビームを減速させることによって収差補正前の収差係数を小さくし、色収差と球面収差のいずれか一方、あるいは、色収差と球面収差を同時に補正したとき、5次の開口収差係数 C_5 の大きさ（絶対値）が最小となるように、または、4次の収差である3次開口色収差係数 C_{3c} の大きさ（絶対値）が最小となるように、トランスファーレンズ系と対物レンズの合成倍率を調整した。

【0032】

請求項9の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、収差補正装置の多極子のフォーカス電位、色収差補正電位、球面収差補正電位に5次の収差係数を補正するための12極子電位を重畳した。

【0033】

請求項10の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、トランスファーレンズ系は、1段のトランスファーレンズより成る。

請求項11の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、トランスファーレンズ系は、2段のトランスファーレンズより成る。

【0034】

【発明の実施の形態】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を詳細に説明する。図5は本発明の基本構成（第1の実施の形態）を示しており、荷電粒子ビームの一部をプローブとして試料に照射する装置において、色収差を補正するために、4段の静電型4極子1、2、3、4と中央の2段の静電型4極子2、3の電位分布と相似な磁位分布を重畳させる2段の磁場型4極子5、6と、対物レンズ7と、トランスファーレンズ27aとトランスファーレンズ27bと、光路の一部に設けられた対物絞り8と、加速電圧や作動距離を変更する操作表示部9と、4段の静電4極子1～4に電圧を供給する電源10と、2段の磁場型4極子5、6を励磁する電源15と、対物レンズとトランスファーレンズ用の電源17と、操作表示部9の操作または設定に基づいて前記電源10、15、17を制御する制御部19が備えられている。

【0035】

また、球面収差を補正するために、前記した各構成要素に加えて4段の静電型4極子1、2、3、4の電位分布に8極子電位を重畳させる4段の静電型8極子11、12、13、14と、4段の静電型8極子に電圧を供給する電源18と、操作表示部9の操作または設定に基づいて前記電源18を制御する制御部19が備えられている。

【0036】

更に、対物レンズ7とトランスファーレンズ系の位置関係を、焦点距離 f_a が得られるトランスファーレンズ27aと前記静電型4極子4の主面との距離 L_1 を f_a 程度とする。また、焦点距離 f_b が得られるトランスファーレンズ27bとトランスファーレンズ27aの主面との距離 L_2 を $f_a + f_b$ 程度とする。更に、対物レンズ7をトランスファーレンズ27bの主面と対物レンズ7の前方焦点位置FFPとの距離 L_3 が f_b 程度となるように配置する。

【0037】

上記した構成により、粒子プローブは、対物レンズ7とトランスファーレンズ用の電源17の制御によって、試料面20にフォーカスされる。ここで、 f_a 程度、 $f_a + f_b$ 程度、 f_b 程度という表現は、機械的な許容精度を示すものでは

なく、装置を都合良く構成するために、意図的にこれらの基準の値から 10～20%程度ずらして配置しても、性能には影響しないように、トランスファーレンズ 27a、27b、対物レンズ 7 の位置を構成できることを示すものである。以下、図 5 に示した基本構成の動作について、図 6 を参照して説明する。

【0038】

説明を単純にするために、図 5 の構成における収差補正装置 C、トランスファーレンズ 27a、27b、対物レンズ 7 の位置関係は、対物レンズ・トランスファーレンズ電源 17 を制御して設定したトランスファーレンズ 27a、27b の各々の焦点距離 f_a 、 f_b に対して、次に示す関係とする。

【0039】

$$L_1 = f_a, L_2 = f_a + f_b, L_3 = f_b$$

即ち、これは図 5 の特殊な場合である。

まず、収差補正装置における粒子ビームの基準軌道の作り方は、前記従来技術の項で示した方法により行なう。すなわち、近軸軌道として、4 極子 1 によって y 方向の軌道 R_y が 4 極子 2 の中心を通り、4 極子 2 によって X 方向の軌道 R_x が 4 極子 3 の中心を通り、4 極子 3、4 によって、4 極子 4 を出射した荷電粒子ビームの X、Y 方向の像面位置が一致するように制御する。この状態は、X、Y 方向のフォーカス状態が同時に合うようにすることで調整される。

【0040】

次に、トランスファーレンズ 27a に入射するビームは、光軸に対して平行になるように、収差補正装置を調整する。このようにすれば、トランスファーレンズ 27a から出射したビームは、トランスファーレンズ 27a の主面から f_a だけ離れたフォーカス位置 TFP を通り、トランスファーレンズ 27b に入射する。トランスファーレンズ 27b から出射したビームは、光軸に対して平行（但し、図 5 は上記の関係とは必ずしも同じではないので平行には描いていない）になり、対物レンズ 7 に入射する。

【0041】

なお、トランスファーレンズ 27a に入射するビームを、光軸に対して「平行」になるように、収差補正装置 C を調整することは必要条件ではない。すなわち

、設計上の焦点距離になるようにトランスファーレンズや対物レンズを設定し、前記のフォーカスがX、Y方向で合えば、平行にこだわる必要は全くなく、「平行」としたのは、動作説明がわかりやすくなるためである。

【0042】

次に、対物レンズ・トランスファーレンズ電源17を制御して、ビームを試料面20にフォーカスさせる。このような近軸軌道が得られるレンズ動作は、従来方式を応用した標準的な考え方に基づいている。この場合のトランスファー系の共役点に対する倍率 M_{TL} は1になる。この状態で色収差や球面収差を補正する場合には、前記した従来例で示した方法、あるいは、先願の特許出願2001-328776号に示された方法で行なうことができる。

【0043】

すなわち、色収差を補正する場合には、上記の基準軌道を変えないように静電型4極子2の電位 ϕ_{q2} [V] と磁場型4極子5の励磁 J_2 [A T] (あるいは磁位) が調整され、レンズ系全体としてX方向の色収差が0に補正される。同様に基準軌道を変えないように静電型4極子3の電位 ϕ_{q3} [V] と磁場型4極子6の励磁 J_3 [A T] が調整され、レンズ系全体としてY方向の色収差が0に補正される。

【0044】

次に、球面収差を補正する場合には、X、Y方向の色収差の補正を行った後に、静電型8極子12の電位 ϕ_{02} [V] によってレンズ系全体としてX方向の球面収差を0に補正し、静電型8極子13の電位 ϕ_{03} によってY方向の球面収差を0に補正する。

【0045】

次に、収差補正装置Cとトランスファーレンズ27aの制御はそのままにして、対物レンズ7の焦点距離 f_{OL} とトランスファーレンズ27bの焦点距離 f_2 を調整して、粒子ビームが試料面20にフォーカスが合うように、レンズ系の総合倍率 M_x 、 M_y を変える。この新しい基準軌道を変えないように、前記の従来技術の項で説明した収差補正装置の色収差補正の方法や、球面収差の補正方法、あるいは、先願の特許出願2001-328776号に示された方法で色収差や球面収差を補

正する。

【0046】

このとき、色収差・球面収差補正後の5次の開口収差係数 C_5 や3次開口・色収差係数 C_{3c} をトランスファーレンズ27bの焦点距離 f_2 に対してプロットしたものが図6である。この例では、 f_2 が f_b とは異なる f_m のところで最小となっている。すなわち、収差補正装置Cの構造によっては、収差補正装置Cの動作条件の方が C_5 や C_{3c} に大きく寄与し、必ずしも収差補正装置の主面付近が対物レンズ7の前方焦点と共役になる必要はないことを示している。

【0047】

このことは、 C_5 や C_{3c} を減らす目的では、トランスファーレンズ27a、27bの配置としては、米国特許USP No.5,084,622に示されたような、厳密な位置関係は必要がなく、むしろ、装置構成上の都合でトランスファーレンズ27a、27bを配置し、トランスファーレンズ27bと対物レンズ7の焦点距離を調整した方が良いことを示している。

【0048】

以上説明したように、本発明では、操作表示部9で設定されたプローブの加速電圧 V_a 、作動距離WD、プローブ電流 I_p などに対し、操作表示部9で計算された（または記憶された） C_5 または C_{3c} が最小となるような動作条件を収差補正装置C、トランスファーレンズ27b、対物レンズ7に設定する。ここで、トランスファーレンズ27aの焦点距離は固定でもかまわない。

【0049】

なお、本基本構成では、レンズ系全体の長さを所定の長さに制限した場合、トランスファーレンズ27bと対物レンズ7との間隔が比較的小さくなるため、偏向装置や非点補正装置などを全てトランスファーレンズ27bと対物レンズ7との間に配置することは好ましくなく、それらの一部をトランスファーレンズ27aと27bとの間や、収差補正装置Cとトランスファーレンズ27aとの間などに配置することが好ましい。

【0050】

以上本発明の基本構成（第1の実施の形態）について図5、図6に基づいて説

明したが、この実施の形態では、トランスファーレンズ 27a の焦点距離 f_1 が f_a で、4 段目静電型 4 極子 4 の主面とトランスファーレンズ 27a の主面との間の距離 L_1 が f_a となるような配置になる例について詳説した。

【0051】

しかし、図 7 に示すように、収差補正装置の動作条件によっては、C5 の X, Y 方向成分 C_{5x} , C_{5y} や、C3c の X, Y 方向成分 C_{3cx} , C_{3cy} の大きさ（絶対値）が等しくなるところは、必ずしも $L_1 = f_a$ のところにあるとは限らない。

【0052】

したがって、C5 や C3c の X, Y 成分を同時に 0 にできない場合には、粒子プローブのボケができるだけ対称的になるように条件を選び、X, Y 方向の成分の大きさが同程度になるような $L_1 = L_0$ を選ぶことができる。

【0053】

前記した第 1 と第 2 の実施の形態では、トランスファーレンズを 2 段用いた系について説明したが、1 段のトランスファーレンズを用いても同様の効果を得ることができる。この場合には、次の 2 つの条件が前提となる。まず第 1 に、焦点距離 f_b が得られるトランスファーレンズ 27b と前記 4 段目静電型 4 極子 4 の主面との距離 L_2 を $2f_b$ 程度とする。

【0054】

第 2 に、対物レンズ 7 をトランスファーレンズ 27 の主面と対物レンズ 7 の前方焦点位置 FFP との間の距離 L_3 が $2f_b$ 程度となるように配置する。このような条件下で、対物レンズ・トランスファーレンズ電源 17 の制御によって、粒子プローブは試料面 20 にフォーカスされる。

【0055】

ここで $2f_b$ 程度という表現は、機械的な許容精度を示すのではなく、装置を都合良く構成するために、意図的にこれらの基準の値から、10～20% 程度ずらして配置しても、性能には影響しないように、トランスファーレンズ 27b と対物レンズ 7 の位置を決定できることを示すものである。

【0056】

次に、図 8 を用いて、従来の考え方と比較しながら、高次の収差係数を最小とするための動作原理を説明する。説明を単純にするために、収差補正装置 C、トランスファーレンズ 27b、対物レンズ 7 の位置関係は、対物レンズ・トランスファーレンズ電源 17 を制御して設定したトランスファーレンズ 27b の焦点距離 f_b に対して、下記のように配置したとする。

【0057】

$$L_2 = 2f_b, \quad L_3 = 2f_b$$

まず、収差補正装置における粒子ビームの基準軌道の作り方は、従来技術の項で説明した方法で行なう。次に、トランスファーレンズ 27b に入射するビームは、トランスファーレンズ 27b の主面から収差補正装置より f_b だけ離れた光軸上の点 CFP を通過するように（収差補正装置のフォーカス位置が CFP になるように）、収差補正装置 C を調整する。このようにすれば、トランスファーレンズ 27b を出射するビームは、光軸に対して平行となり、対物レンズ 7 に入射する。

【0058】

次に、対物レンズ・トランスファーレンズ電源 17 を制御してビームを試料面 20 にフォーカスさせる。このような近軸軌道が得られるレンズ動作は、従来方式を応用した標準的な考え方に基づいている。この場合のトランスファーレンズ系の共役点に対する倍率 M_{TL} は 1 になる。この状態で色収差や球面収差を補正する場合には、従来技術で示した方法、あるいは、先願の特許出願 2001-328776 号に示された方法で行なうことができる。

【0059】

次に、対物レンズ 7 の焦点距離 f_{OL} とトランスファーレンズ 27b の焦点距離 f_2 を調整して、粒子ビームが試料面 20 にフォーカスが合うように、レンズ系の総合倍率 M_x , M_y を変える。この新しい基準軌道を変えないように、収差補正装置を用いた従来技術の項で示した方法、あるいは、先願の特許出願 2001-328776 号に示された方法で色収差や球面収差を補正する。

【0060】

このとき、色収差・球面収差補正後の 5 次の開口収差係数 c_5 や、3 次開口色

収差係数 $C3c$ をトランスファーレンズ 27b の焦点距離 $f2$ に対してプロットすると、図 6 と同様に、 $f2$ が f_b とは異なる f_m のところで最小になっている。すなわち、収差補正装置の構造によっては、収差補正装置の動作条件の方が $C5$ や $C3c$ に大きく寄与し、必ずしも収差補正装置 C の主面付近が対物レンズ 7 の前方焦点と共役になる必要はない。

【0061】

このことは、 $C5$ や $C3c$ を減らす目的では、トランスファーレンズ 27b の配置としては、図 4 に示した従来例に示すような厳密な位置関係は必要がなく、むしろ装置構成上の都合でトランスファーレンズ 27b 配置し、トランスファーレンズ 27b と対物レンズ 7 の焦点距離を調整した方が良いことを示している。

【0062】

以上のように、これまでに示した本発明の実施の形態では、操作表示部 9 で設定された加速電圧 V_a 、作動距離 WD 、プローブ電流 I_p 等に対し、操作表示部 9 で計算された（または記憶された）、 $C5$ または $C3c$ が最小となるような動作条件を収差補正装置 C とトランスファーレンズ 27b、対物レンズ 7 に設定するようにしている。

【0063】

なお、本発明の実施の形態で示した構成では、レンズ系全体の長さを所定の長さに制限した場合、トランスファーレンズ 27b と対物レンズ 7 との間隔が比較的小さくなるため、偏向装置や非点補正装置などを全てトランスファーレンズ 27b と対物レンズ 7 との間に入れられない場合には、収差補正装置とトランスファーレンズ 27b の間などが、それらの装置を配置するために利用される。

【0064】

図 5～8 を参照して説明した各実施の形態では、トランスファーレンズ系の共役点に対する倍率 M_{TL} が 1 付近になるような構成を考えてきたが、これ以外の倍率になるように構成できることを以下に示す。この場合には、焦点距離 f_b が得られるトランスファーレンズ 27b と 4 段目静電型 4 極子 4 の主面との間の距離 L_2 を $1.5 f_b$ 程度とし、対物レンズ 7 をトランスファーレンズ 27 の主面と対物レンズ 7 の前方焦点位置 FFP との距離 L_3 が $3 f_b$ 程度になるように配置し、

対物レンズ・トランスファーレンズ電源 17 の制御によって、粒子プローブは試料面 20 にフォーカスされる。

【0065】

ここで、 $1.5fb$ 、 $3fb$ 程度という表現は、機械的な許容精度を示すものではなく、装置を都合良く構成するために意図的にこれらの基準の値から $10 \sim 20\%$ 程度ずらして配置しても、性能には影響しないように、トランスファーレンズ 27b、対物レンズ 7 の位置を構成できることを示す。

【0066】

次に、図 9 を用いて、従来の考え方と比較しながら、高次の収差係数を最小にするための動作原理を説明する。説明を単純にするために、収差補正装置 C、トランスファーレンズ 27b、対物レンズ 7 の位置関係は、対物レンズ・トランスファーレンズ電源 17 を制御して設定したトランスファーレンズ 27b に対して、次のように配置したとする。

【0067】

$$L_2 = 1.5fb, \quad L_3 = 3fb$$

即ち、これは図 9 の特殊な場合である。

まず、収差補正装置 C における粒子ビームの基準軌道の作り方は、従来技術の項で示した方法、あるいは、先願の特許出願 2001-328776 号に示された方法で行なう。次に、トランスファーレンズ 27b に入射するビームは、トランスファーレンズ 27b の主面から収差補正装置 C より fb だけ離れた光軸上の点 CFP を通過するように（収差補正装置のフォーカス位置が CFP になるように）、収差補正装置 C を調整する。

【0068】

このようにすれば、トランスファーレンズ 27b を出射するビームは、光軸に対して平行（但し、図 9 は上記の関係とは必ずしも同じではないので平行には描いていない）になり、対物レンズ 7 に入射する。次に、対物レンズ・トランスファーレンズ電源 17 を制御して、ビームを試料面 20 にフォーカスさせる。この場合のトランスファーレンズ系の共役点に対する倍率 M_{TL} は 2 になる。この状態で色収差や球面収差補正後の 5 次の開口収差係数 C_5 や 3 次開口・色収差係数 C

3cの大きさを最小にする方法は、前記した図8に基づいて説明した第3の実施の形態と同様に行なうことができる。

【0069】

なお、トランスファーレンズ27bと対物レンズ7の合成倍率を調整する前の状態 $f = f_b$ において、 $1 < M_{TL}$ になるような L_2 、 L_3 を用いると、第3の実施の形態と比較して、C5やC3cは増大する。しかし、トランスファーレンズ27bをもたないで、収差補正装置Cと対物レンズ7との距離が L_3 の場合の装置と比較すると、 L_3 の大きさによっては、トランスファーレンズを用いた方がC5やC3cを小さくでき、トランスファーレンズ27bと対物レンズ7との間に偏向装置や非点補正装置を配置するのに都合が良い。

【0070】

なお、図8や図9の説明では、収差補正装置Cとトランスファーレンズ27bとの間に収差補正装置Cの像面CFPがある例を示したが、これは図4のようにトランスファーレンズ27bと対物レンズ7の間にあってもよいことは明らかである。

【0071】

図10に第5の実施の形態を示す。この実施の形態において、試料20に入射する粒子プローブを試料近傍で減速するために、試料面またはその近傍に粒子プローブを減速する電位を与える構造を、前記した第1～第4の実施の形態と組み合わせている。減速による効果は、例えば、次の文献に示されている。

【0072】

[8] E. Munro, J. Vac. Sci. Technol. B6 (6), Nov/Dec (1988) 1971

すなわち、この文献において、最も現実的な例として、試料面20に電圧を印加して、入射エネルギーを減速電圧によって $1/4$ にまで減速したとき、色収差係数 C_c は約 $1/4$ に減衰し、球面収差係数 C_s は約 $1/2$ に減衰できることを示している。また、試料面20の電圧を上げて、更に減速の度合いを大きくすると、効果は更に大きくなることも示されている。

【0073】

本発明において、試料面またはこの近傍に粒子プローブを減速するための電圧

を供給するため、減速電圧電源 30 を設け、前記した性質を利用すると、収差補正前の対物レンズ 7 の色収差係数 C_c および球面収差係数 C_s を小さくすることができる。

【0074】

これによって、色収差補正のための電圧や球面収差補正のための電圧を低く設定できるため、収差補正後の高次収差係数である前記の C_5 や C_{3c} も小さな値にすることができる。一例として、入射エネルギーを $1/4$ にまで減速した場合、トランスファーレンズシステムと同じ効果、すなわち、これらの収差係数を $1/5 \sim 1/10$ まで減少可能であることが、シミュレーションにより確認できた。

【0075】

したがって、トランスファーレンズ 27b と本減速電圧電源 30 を用いることにより、これらを全く用いない場合と比較して、収差補正後の高収差係数の C_5 や C_{3c} は約 2 桁程度減少させることができ、これによって、更に細かいプローブ径を得ることが可能になる。

【0076】

図 11 に本発明の第 6 の実施の形態を示す。この実施の形態では、前記した第 5 の実施の形態の効果をも更に生かすことができる。すなわち、図 10 に示した第 5 の実施の形態では、5 次の開口収差係数が 2 桁のオーダーで減少できる構成を説明したが、ここまで小さな値となると、12 極子場を用いた 5 次の開口収差補正が現実的なものとなる（例えば、[9] H. Rose, Optik34, Hefe3, 285 (1971)）。すなわち、詳細には述べないが、従来技術の例で示したように、4 極子場や 8 極子場は、12 極子またはそれ以上の多極子を用いて各極子の作る場を合成して得られたものであるから、この 12 極子またはそれ以上の多極子を本来の 12 極子としても使用することができる。

【0077】

したがって、上述のごとく働く 1 段目～4 段目の 12 極子 31～34 と、これに 12 極子用の電源 35 を接続すれば、12 極子による 5 次の開口収差の補正が可能となる。この図 11 では、第 1 段の静電型 4 極子 1 と第 1 段の静電型 8 極子

1 1 と第 1 段の静電型 1 2 極子 3 1 が重ねて描かれている。同様に、第 2 段の静電型 4 極子 2 と、第 2 段の静電型 8 極子 1 2 と、第 1 の磁場型 4 極子 5 と、第 2 段の静電型 1 2 極子 3 2 が重ねて描かれている。同様に、第 3 段の静電型 4 極子 3 と、第 3 段の静電型 8 極子 1 3 と、第 2 の磁場型 4 極子 6 と、第 3 段の静電型 1 2 極子 3 3 が重ねて描かれている。同様に、第 4 段の静電型 4 極子 4 と、第 4 段の静電型 8 極子 1 4 と、第 4 段の静電型 1 2 極子 3 4 が重ねて描かれている。

【0078】

以下、この方法を説明する。5 次の開口収差の補正法は、従来技術の球面収差補正と同様に実施することができる。すなわち、最も基本的な（初歩的な）方法として、次のステップによる調整手段が用いられる。

【0079】

第 1 のステップでは、C 5 の X 成分である C 5 x を 2 段目の 1 2 極子 3 2 で補正する。この時、Y 方向の軌道は、2 段目 1 2 極子の中心を通過しているので、Y 方向の成分である C 5 y への影響は少ない。

【0080】

次に第 2 のステップでは、C 5 の Y 成分である C 5 y を 3 段目の 1 2 極子 3 3 で補正する。このとき、X 方向の軌道は、3 段目の 1 2 極子の中心を通過しているので、X 方向の成分である C 5 x への影響は少ない。

【0081】

次に第 3 のステップでは、X、Y 方向が合成された成分を 1 段目と 4 段目の 1 2 極子 3 1、3 4 で補正する。例えば、試料に入射する粒子プローブの X、Y 方向の開き角 α_x 、 α_y に対して、開口収差が $\alpha_x^3 \alpha_y^2$ に比例する成分を 1 段目の 1 2 極子 3 1 で補正し、開口収差が $\alpha_x^2 \alpha_y^3$ に比例する成分を 4 段目の 1 2 極子 3 4 で補正するようにしてもよい。

【0082】

次に第 4 のステップでは、前記第 3 のステップの補正によって、C 5 x（収差が α_x^5 に比例する係数）や C 5 y（収差が α_y^5 に比例する係数）は、影響を受けるので、再度第 1 ステップ、第 2 ステップの調整を行なう。また、この調整によって $\alpha_x^3 \alpha_y^2$ および $\alpha_x^2 \alpha_y^3$ に比例する成分は影響を受けるので、再度第 3 ステ

ップの調整を行なう。実際にはこの交互調整を繰り返す。

【0083】

この第1から第4のステップを数回繰り返すことによって、12極子場による収差補正前の値に対して、収差補正後は5次の開口収差係数を更に1/100まで減少させることができる。これは実質的に5次の全ての開口収差係数を実質的に0にできることを示している。

【0084】

このようにすれば、5次の開口収差係数C5の影響を受けないため、実質的にプローブ径を決める収差は、理想的には回折収差とC3cのみとなり、著しい効果が得られる。

【0085】

ところで、図11において、第1段の静電型4極子1と第1段の静電型8極子11を静電型12極子に置き換えて静電型12極子31と兼用し、同様に、第2段の静電型4極子2と第2段の静電型8極子12、第3段の静電型4極子3と第3段の静電型8極子13、第4段の静電型4極子4と第2段の静電型8極子14をそれぞれ静電型12極子に置き換えて静電型12極子32、33、34と兼用し、かつ理論上は、電源35で電源10、15、18の機能を兼用してもよい。しかしながら、実用上は、あたかも電源10、15、18が電源35から独立しているかのように操作できるようにすべきである。そうでないと、上記の調整作業は極めて困難になってしまうからである。

【0086】

なお、5次の開口収差係数C5が大きい場合には、12極子場を作る電圧が極端に大きくなるため（例えば10～100倍）、12極子によるC5の補正が困難となる。また、仮にC5が補正できたとしても、大きな収差補正電圧によって、6次以上の収差係数（例えば、7次の開口収差係数）が大きくなり、回折効果を減らそうとして試料に入射する開き角 α_x 、 α_y を大きくすると、これらの収差の影響が無視できなくなり、微小プローブを得る手段としては現実的ではない。

【0087】

【発明の効果】

以上説明したように、請求項1の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、4段の静電型4極子と、4段の静電型4極子の中央の2段の静電型4極子の電位分布と相似な磁位分布を重畳させる2段の磁場型4極子とより成る収差補正光学系を備えた収差補正装置において、収差補正光学系と対物レンズとの間に少なくとも1段のトランスファーレンズより成るトランスファーレンズ系を配置し、トランスファーレンズ系の物面を収差補正光学系の最終段付近に設定し、これに共役な像面を対物レンズの前方焦点付近に設定し、収差補正光学系の電圧と磁場とを調整すると共に、トランスファーレンズ系と対物レンズの合成倍率を調整して色収差を補正することを特徴としている。

【0088】

更にこのような系において、4段の静電型4極子の電位分布に8極子電位を重畳させる4段の静電型8極子と、4段の静電型8極子に電圧を供給する電源と、操作表示部の操作または設定に基づいて前記4段の静電型8極子の電源を制御する制御部を備え、前記8極子の電圧を制御して球面収差を補正することを特徴としている。

【0089】

このように構成したので、色収差または球面収差の何れか一方、または色収差と球面収差を同時に補正するとき、トランスファーレンズ系と対物レンズの合成倍率を調整して、試料面における5次の開口収差係数 C_5 の大きさや3次開口・色収差係数 C_{3c} の大きさ（絶対値）を最小とすることができるようになった。したがって、試料面に照射される荷電粒子ビームについて、最小のプローブ径とすることができる。

【0090】

また、トランスファーレンズの配置に自由度を持たせても、試料面における5次の開口収差係数 C_5 の大きさや3次開口・色収差係数 C_{3c} の大きさ（絶対値）を最小とすることができるので、トランスファーレンズ、偏向装置、非点補正装置などを配置する自由度が増すことになる。

【0091】

請求項5の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、色収差

または球面収差の何れか一方、または色収差と球面収差を同時に補正するとき、試料面における 5 次の開口収差係数 C_5 の X, Y 方向の成分 C_{5x} , C_{5y} の大きさが同程度となるように収差補正装置に対してトランスファーレンズ系を配置したので、最小プローブ径の対称性を向上させることができる。

【0092】

請求項 6 の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、色収差または球面収差の何れか一方、または色収差と球面収差を同時に補正するとき、試料面における 4 次の収差である開口色収差係数 C_{3c} の X, Y 方向の成分 C_{3cx} , C_{3cy} の大きさが同程度となるように収差補正装置に対してトランスファーレンズ系を配置したので、最小プローブ径の対称性を向上させることができる。

【0093】

請求項 7 の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、トランスファーレンズ系の物面を収差補正光学系の最終段付近に設定し、これに共役な像面を対物レンズの前方焦点付近に設定した光学系で、共役点に対するトランスファーレンズ系の合成倍率を 1 以外の値としたので、偏向装置、非点補正装置などの配置についての自由度を増すことができる。

【0094】

請求項 8 の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、試料面に電圧を印加するための電源を備え、電圧の印加により試料面に照射される荷電粒子ビームを減速させることによって収差補正前の収差係数を小さくし、色収差と球面収差のいずれか一方、あるいは、色収差と球面収差を同時に補正したとき、5 次の開口収差係数 C_5 の大きさ（絶対値）が最小となるように、または、4 次の収差である 3 次開口色収差係数 C_{3c} の大きさ（絶対値）が最小となるように、トランスファーレンズ系と対物レンズの合成倍率を調整した。その結果、収差補正前の色収差係数 C_c と球面収差係数 C_s を小さくでき、これによって収差補正時の電圧を低く設定できるので、色収差係数 C_c と球面収差係数 C_s を補正したときの高次の収差係数 C_5 や C_{3c} を $1/5 \sim 1/10$ に減少でき、プローブ径の広がりをもより小さくできるようになった。

【0095】

この試料面に減速電圧を印加することと、トランスファーレンズと組みあわせることにより、高次収差係数は、トランスファーレンズと減速電圧電源がない場合と比較して、 C_5 や C_{3c} の値を $1/100$ に減少でき、これらにより、プローブ径の広がりを更に小さくすることができる。

【0096】

請求項9の発明に基づく荷電粒子ビーム装置における収差補正装置は、収差補正装置の多極子のフォーカス電位、色収差補正電位、球面収差補正電位に5次の収差係数を補正するための12極子電位を重畳した。このような構成とすることにより、静電型12極子場を用いた5次の開口色収差補正が十分に現実的な12極子場で行なえるため、5次の開口収差係数を実質的に0にできるようになり、著しいプローブ径の改善（微小化）ができるようになる。

【図面の簡単な説明】

【図1】

色収差を静電型4極子と磁場型4極子の組合せで補正し、球面収差を4段の8極子で補正する収差補正装置の原理を説明するための図である。

【図2】

静電型多極子の標準配列を示す図である。

【図3】

2段のトランスファーレンズが配置された収差補正装置を示す図である。

【図4】

1段のトランスファーレンズが配置された収差補正装置を示す図である。

【図5】

2段のトランスファーレンズが配置された収差補正装置を用いた本発明の第1の実施の形態を示す図である。

【図6】

色収差・球面収差補正後の5次の開口収差係数 C_5 や3次開口・色収差係数 C_{3c} をトランスファーレンズ27bの焦点距離 f_2 に対してプロットした図である。

【図 7】

L_1 に対する C_5 の X , Y 方向成分 C_{5x} , C_{5y} や、 C_{3c} の X , Y 方向成分 C_{3cx} , C_{3cy} の大きさ（絶対値）の変化を示す図である。

【図 8】

高次の収差係数を最小とするための本発明の第 3 の実施の形態を示す図である。

【図 9】

高次の収差係数を最小にするための本発明の第 4 の実施の形態を示す図である。

【図 10】

試料に入射する粒子プローブを減速させる本発明の第 5 の実施の形態を示す図である。

【図 11】

図 10 に示した実施の形態を改良した第 6 の実施の形態を示す図である。

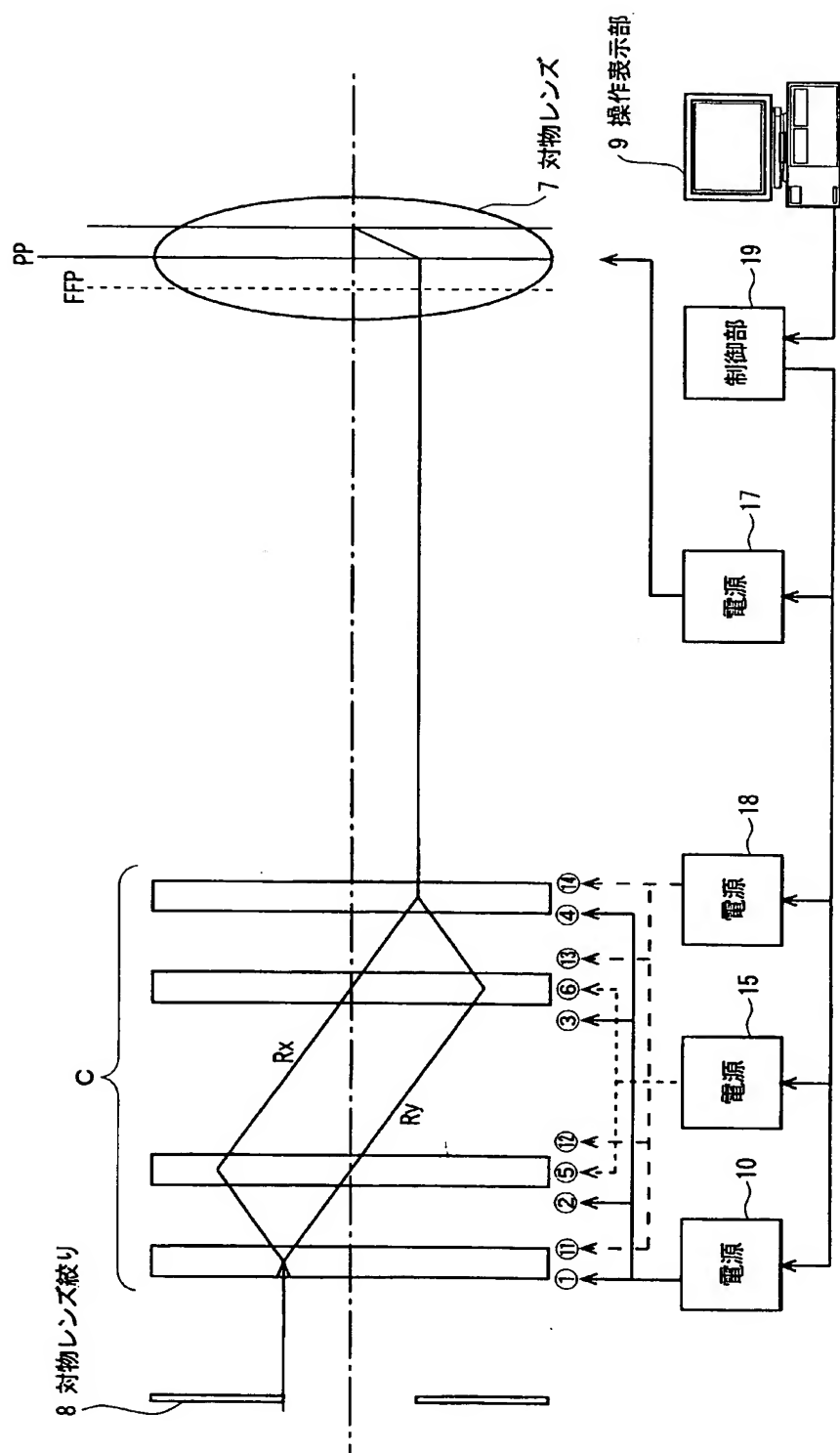
【符号の説明】

- 1, 2, 3, 4 静電型 4 極子
- 5, 6 磁場型 4 極子
- 7 対物レンズ
- 8 対物絞り
- 9 操作表示部
- 10, 15, 18, 17, 30, 35 電源
- 11, 12, 13, 14 静電型 8 極子
- 19 制御部
- 20 試料面
- 27a, 27b トランスファーレンズ

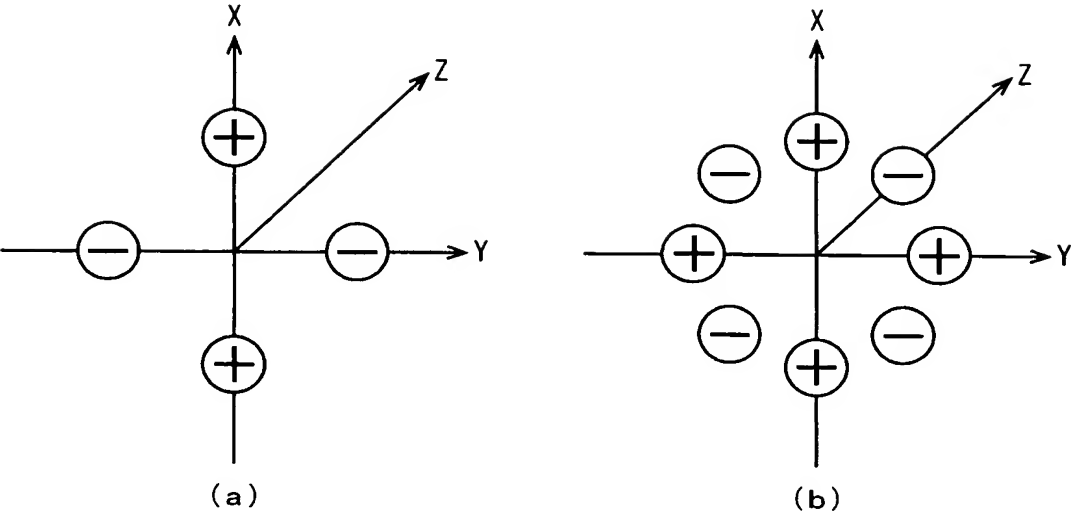
【書類名】

凶面

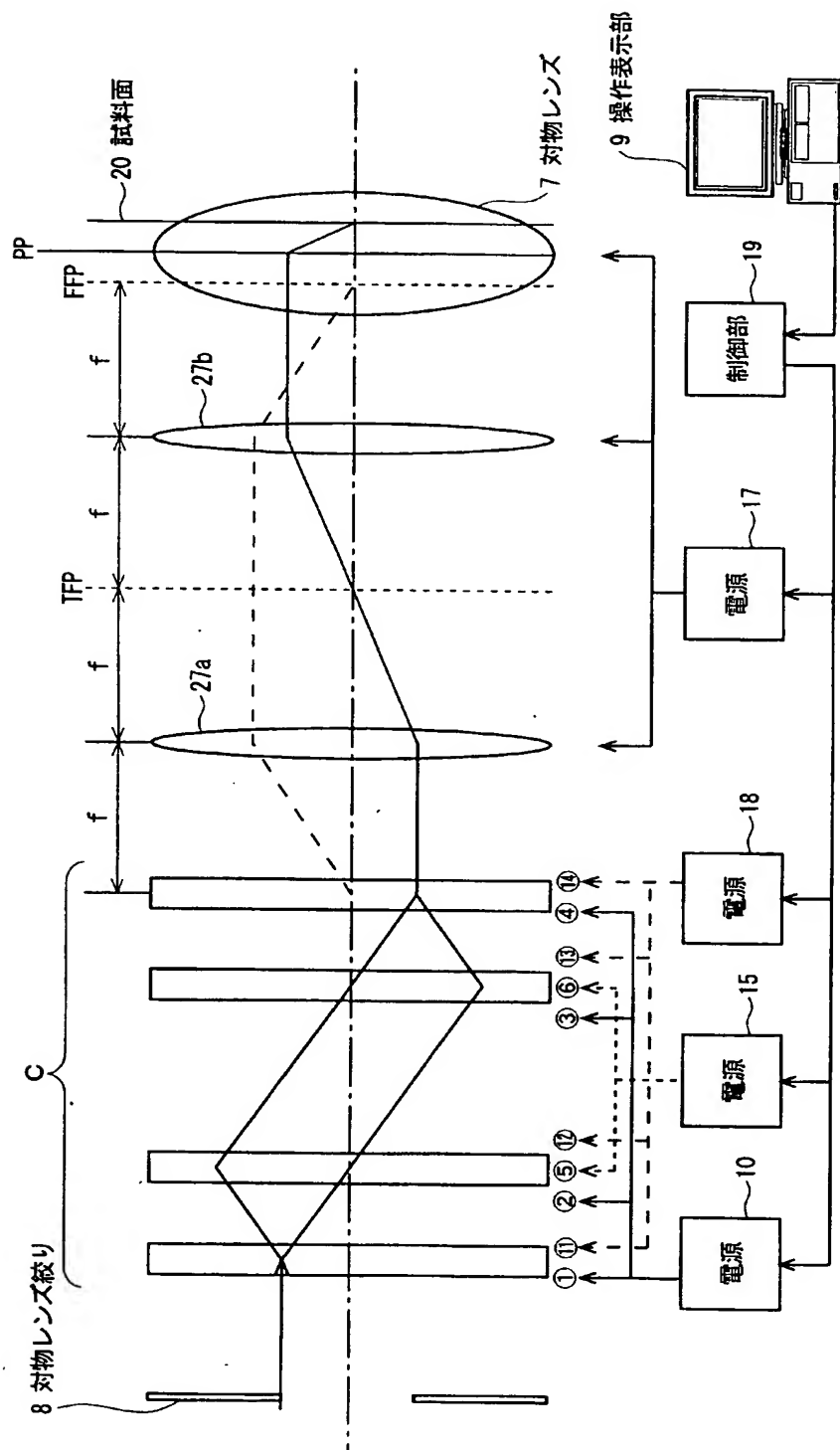
【図 1】



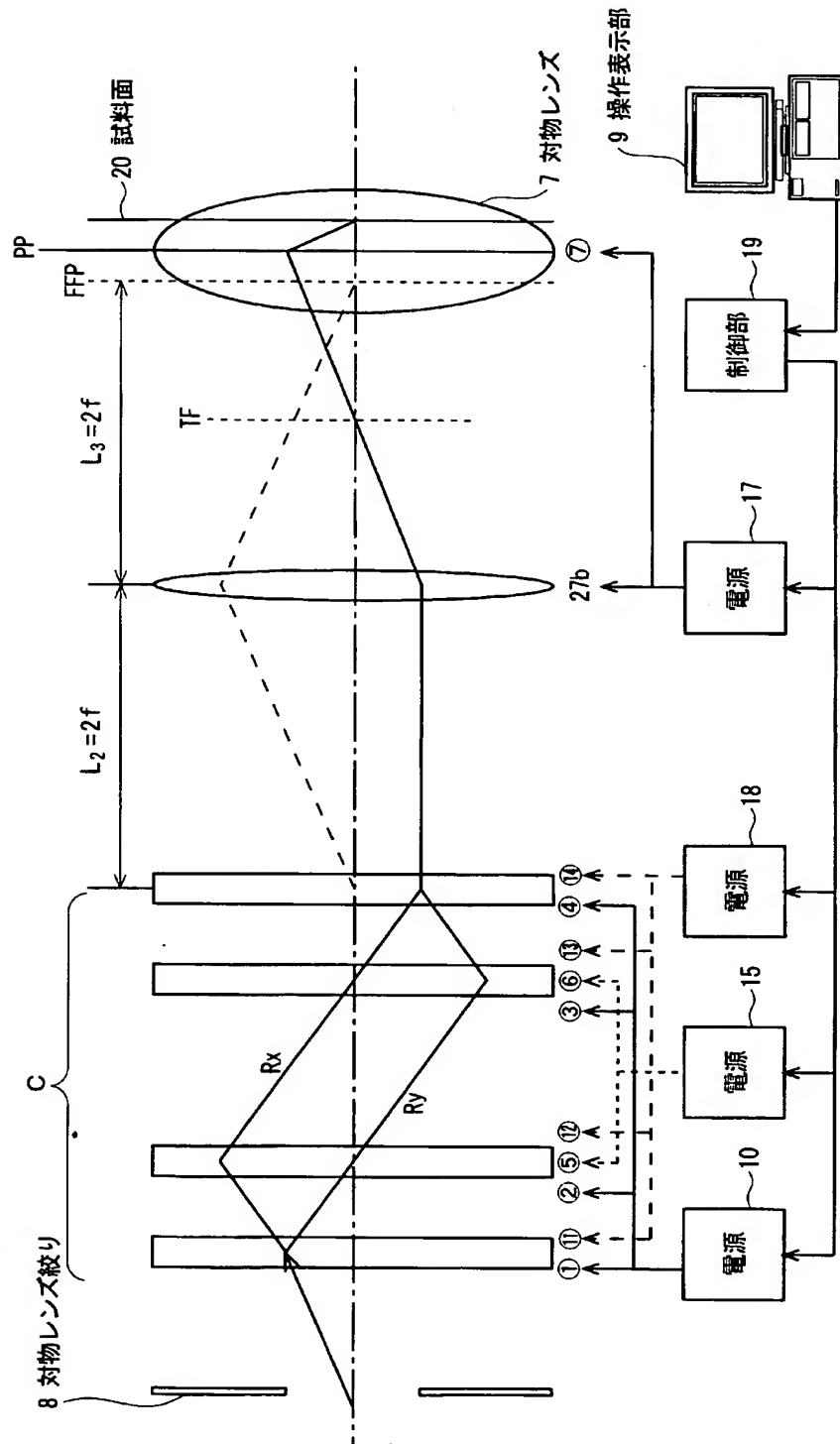
【図 2】



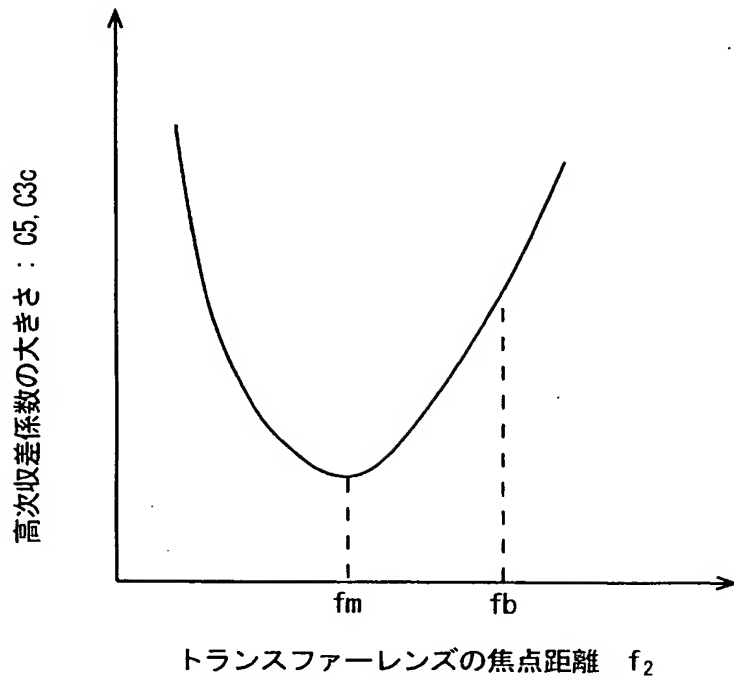
【図 3】



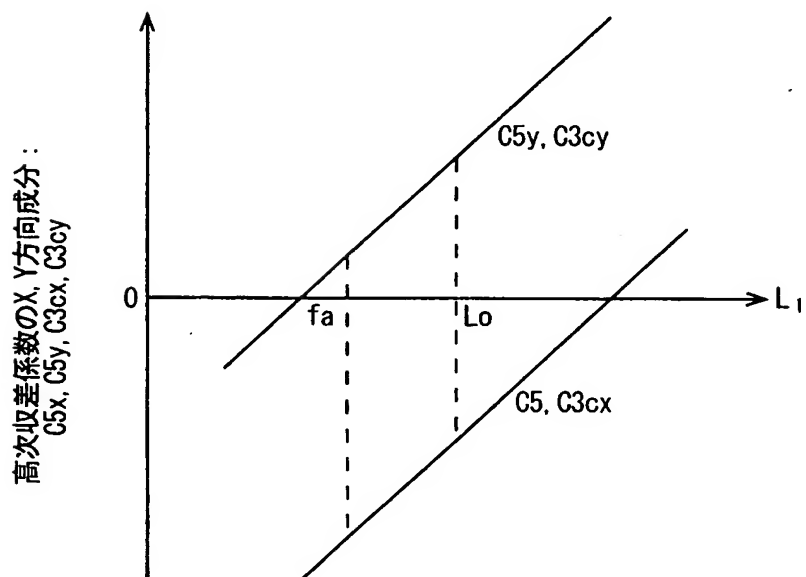
【図 4】



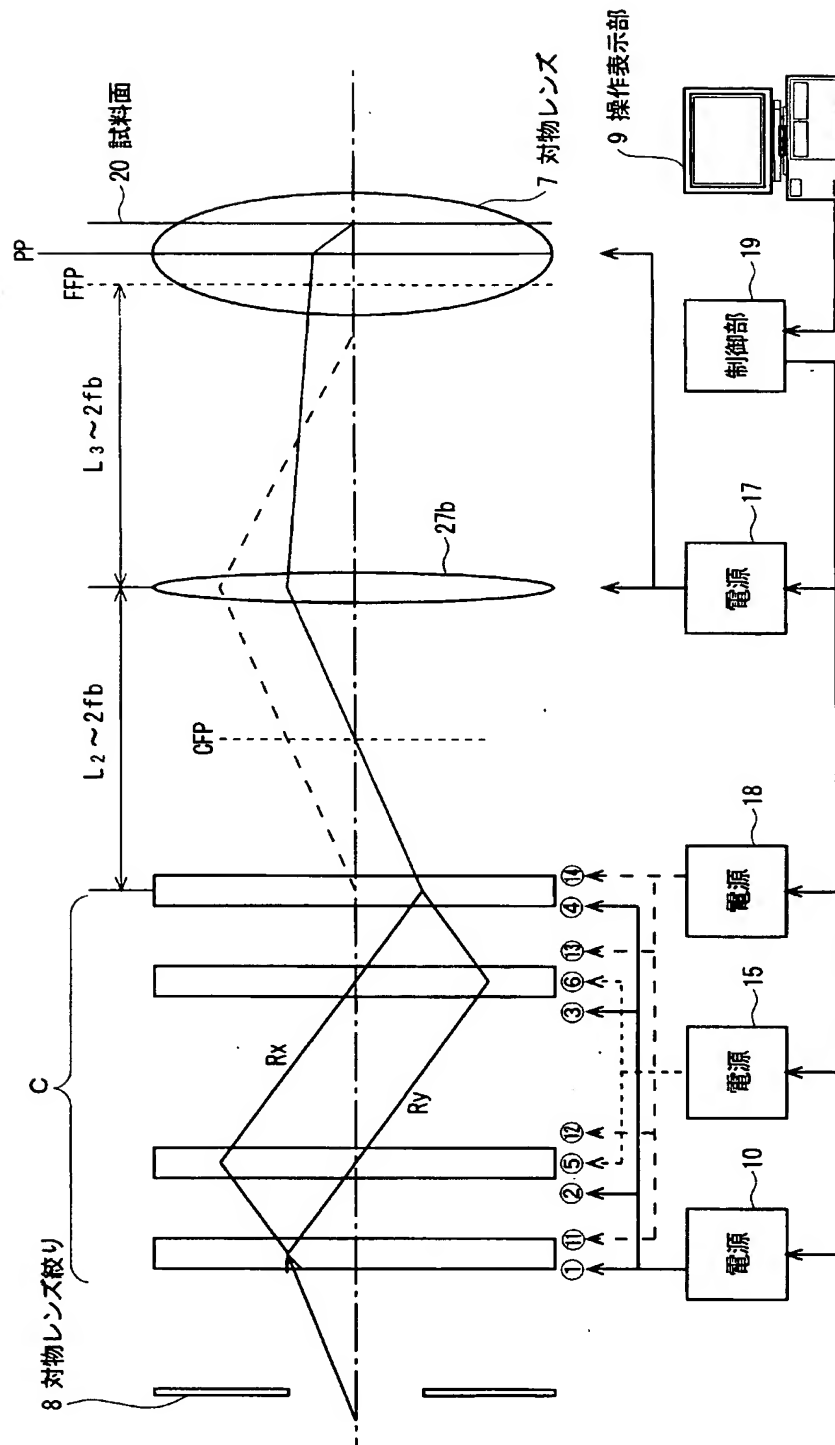
【図 6】



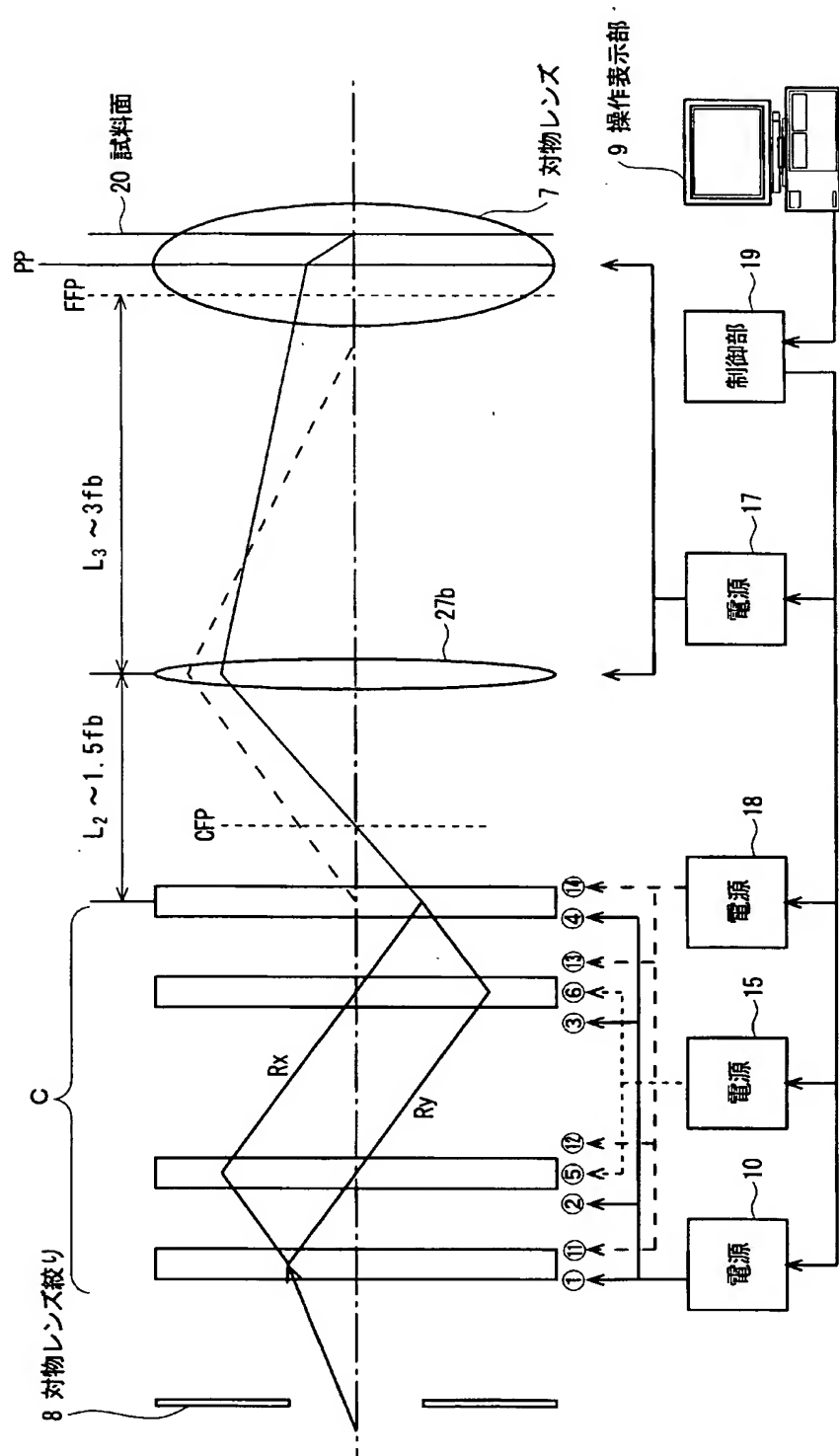
【図 7】



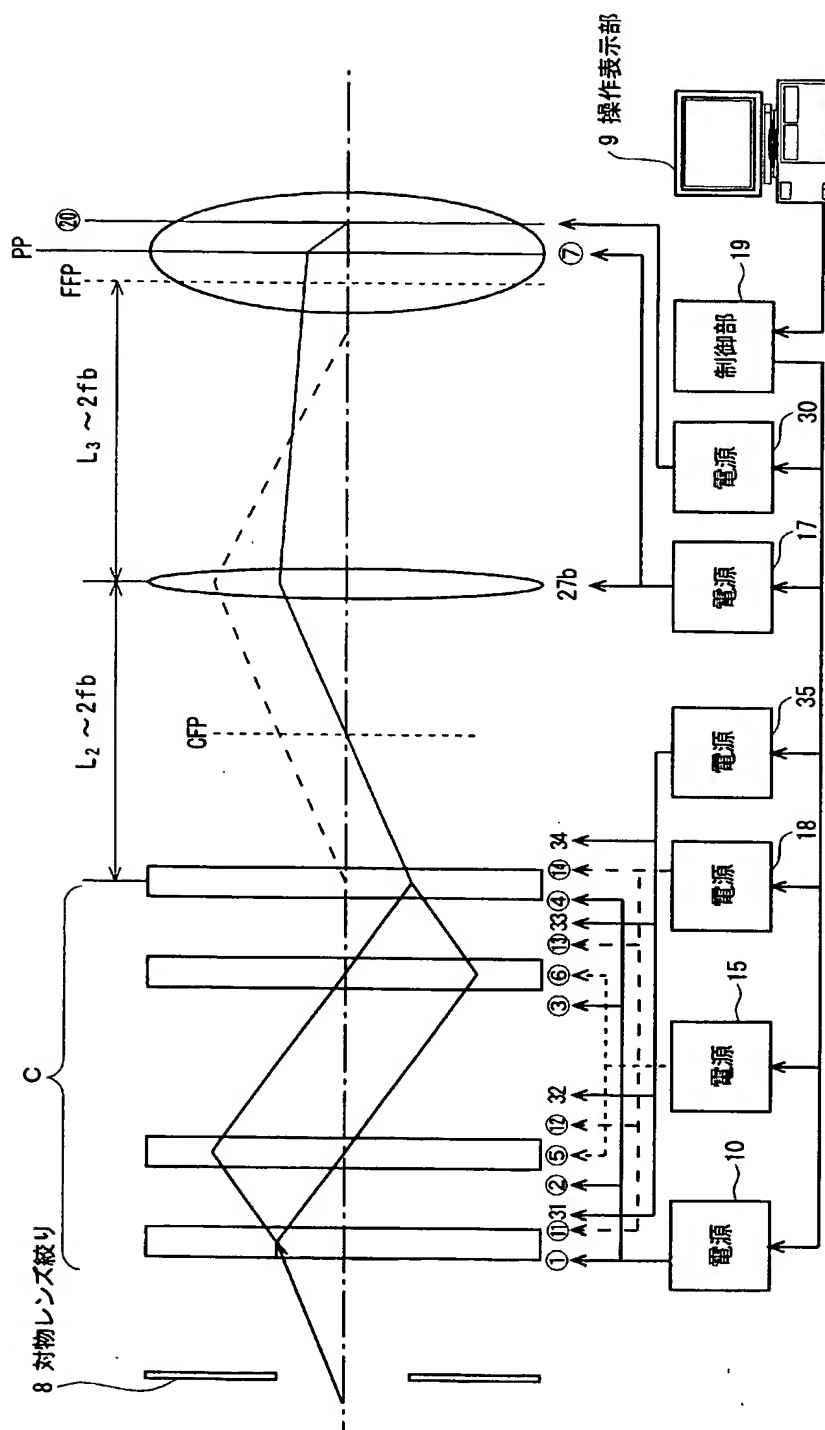
【図 8】



【図 9】



【図 1 1】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 安定かつ最適な収差補正を実現し、荷電粒子ビームの最小プローブ径を得ることができる荷電粒子ビーム装置の収差補正装置を実現する。

【解決手段】 収差補正装置 C の最終段の多極子の主面と焦点距離 f_a のトランスファーレンズ 27a の主面との距離 L_1 を f_a 程度とし、トランスファーレンズ 27a の主面と焦点距離 f_b のトランスファーレンズ 27b の主面との距離 L_2 を $f_a + f_b$ 程度とし、トランスファーレンズ 27b の主面と対物レンズ 7 の前方焦点距離 F_{FP} との距離 L_3 を f_b 程度となるように配置する。収差補正装置 C を調整してビームが位置 T_{FP} で光軸と交わり、トランスファーレンズ 27b を出射し、対物レンズ 7 に入射するようにする。この時、トランスファーレンズ 27b の焦点距離 f_b と対物レンズ 7 の焦点距離を調節してビームが試料面 20 で焦点を結ぶようにする。

【選択図】 図 5

特願 2 0 0 2 - 1 8 9 8 1 2

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号

[0 0 0 0 0 4 2 7 1]

1. 変更年月日
[変更理由]

1 9 9 0 年 8 月 7 日
新規登録

住 所
氏 名

東京都昭島市武蔵野 3 丁目 1 番 2 号
日本電子株式会社